

doi: 10.7690/bgzd.2023.05.015

## 火箭弹质量管理数字化建设策略

王满林<sup>1</sup>, 霍永清<sup>2</sup>, 苏精明<sup>2</sup>, 赵雄飞<sup>2</sup>, 付军<sup>3</sup>

(1. 海装广州局, 重庆 401121; 2. 重庆嘉陵特种装备有限公司弹药技术中心, 重庆 400032;  
3. 中北大学机电工程学院, 太原 030051)

**摘要:** 针对传统火箭弹整体研制流程周期长、研制费用多、质量监控困难等问题, 提出火箭弹数字化发展策略, 建立以传统火箭弹生产模式为依据, 以软件工具为基础的火箭弹数字化质量管理平台。从战术规划和技术论证数字化、生产设计数字化、试验试制数字化、管理数字化阶段, 定制火箭弹战略规划与技术研发方案; 对产品数量和资源分配做合理规划, 优化生产体系; 以真实靶场试验为主体、虚拟靶场(virtual proving ground, VPG)试验为参考处理数据, 提高靶场试验效率, 降低试验成本。结果表明, 该研究可对火箭弹研发全程实现实时、高效、精准地数字化管理。

**关键词:** 火箭弹; 战略转型; 数字化平台; 质量管理; 虚拟靶场试验

**中图分类号:** TJ714 **文献标志码:** A

## Digital Construction Strategy of Rocket Quality Management

Wang Manlin<sup>1</sup>, Huo Yongqing<sup>2</sup>, Su Jingming<sup>2</sup>, Zhao Xiongfei<sup>2</sup>, Fu Jun<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Military Representation Bureau of Naval Equipment Department, Chongqing 401121, China;  
2. Ammunition Technology Center, Chongqing Jialing Special Equipment Co., Ltd., Chongqing 400032, China;  
3. School of Mechanical and Electrical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of long development cycle, high development cost and difficult quality monitoring of traditional rocket, the digital development strategy of rocket is put forward, and the digital quality management platform of rocket based on software tools is established according to the traditional rocket production mode. Customize rocket strategic planning and technology R & D scheme from the stages of tactical planning and technology demonstration digitalization, production design digitalization, test and trial production digitalization and management digitalization; make rational planning for product quantity and resource allocation, and optimize production system; The real shooting range test is taken as the main body and the virtual shooting range (virtual proving ground, VPG) test is taken as the reference to process the data, so as to improve the efficiency of shooting range test and reduce the test cost. The results show that the research can realize in real time, efficient and accurate digital management in the whole process of rocket research and development.

**Keywords:** rocket; strategic transformation; digital platform; quality management; virtual shooting range test

### 0 引言

随着新技术的不断革新, 数字化设计技术未来会向集成化、网络化、虚拟化、自动化、智能化等方向加快发展和应用<sup>[1-2]</sup>。当前, 国外传统工业强国已把数字化技术大量应用到工业制造、航空航天、船舶等领域。针对弹药总体研发, 美国开发了用于弹药、火箭、导弹设计等数字化设计集成的软件平台, 该平台集成了弹药总体设计、仿真模拟试验评估、3 维可视化模块<sup>[3]</sup>, 极大简化了传统火箭弹设计流程。

国内在航空航天等领域也实现了数字化技术设计与制造。火箭弹质量管理策略数字化研制除了需

要保证产品功能和性能质量, 研制过程还必须考虑实时快速响应战场环境的需求, 从实战的角度考虑火箭弹质量问题。针对传统火箭弹研发中的问题, 笔者构建数字化质量管理平台开展相关工作。

### 1 火箭弹研制流程

火箭弹的整体设计过程可分为 3 大阶段: 1) 火箭弹技术指标论证阶段; 2) 火箭弹总体方案及技术设计阶段; 3) 试验、试制定型阶段<sup>[4]</sup>。其中, 火箭弹总体方案及技术设计是火箭弹设计的主体阶段, 该阶段任务是根据战术指标确定火箭弹战斗部、引信、发动机、稳定装置和发射装置等技术方案、实现技术的途径, 然后根据方案对火箭弹进行预示性

收稿日期: 2023-01-28; 修回日期: 2023-02-27

作者简介: 王满林(1969—), 男, 湖南人, 硕士, 高级工程师, 从事武器系统研制制造研究。E-mail: 746356308@qq.com。

计算，评估火箭弹是否满足战术指标要求<sup>[5]</sup>。传统火箭弹整体研发流程如图 1 所示。

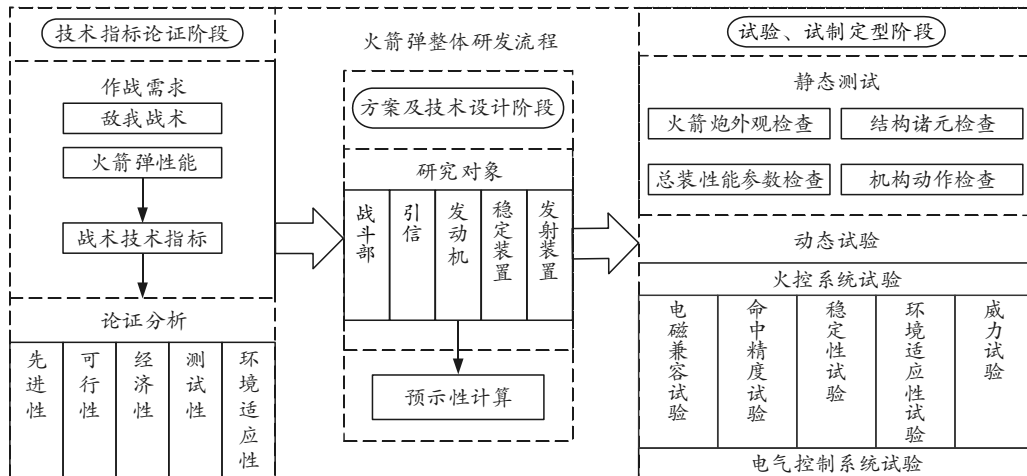


图 1 传统火箭弹整体研发流程

传统武器装备研发从立项、技术论证、研制、试验、定型到交付，未形成科学合理的质量管理体系。在技术方案设计阶段，火箭弹技术方案溯源困难，同类型火箭弹研发需要重新定制一套技术方案和质量管理体系；试验、试制定型阶段，指标分配的合理性、设计的可行性、测试的覆盖性、环境的适应性不能得到保障；针对以上问题，搭建火箭弹数字化质量管理平台，建立模型库与数据库，根据

不同军事需求，在数字化平台快速定制方案，虚拟与现实同步进行。

## 2 火箭弹数字化研制架构

火箭弹数字化研制架构分为 4 大阶段：火箭弹战略规划与技术论证数字化阶段、生产设计数字化阶段、试验数字化阶段、质量管理数字化阶段。研制工程架构如图 2 所示。

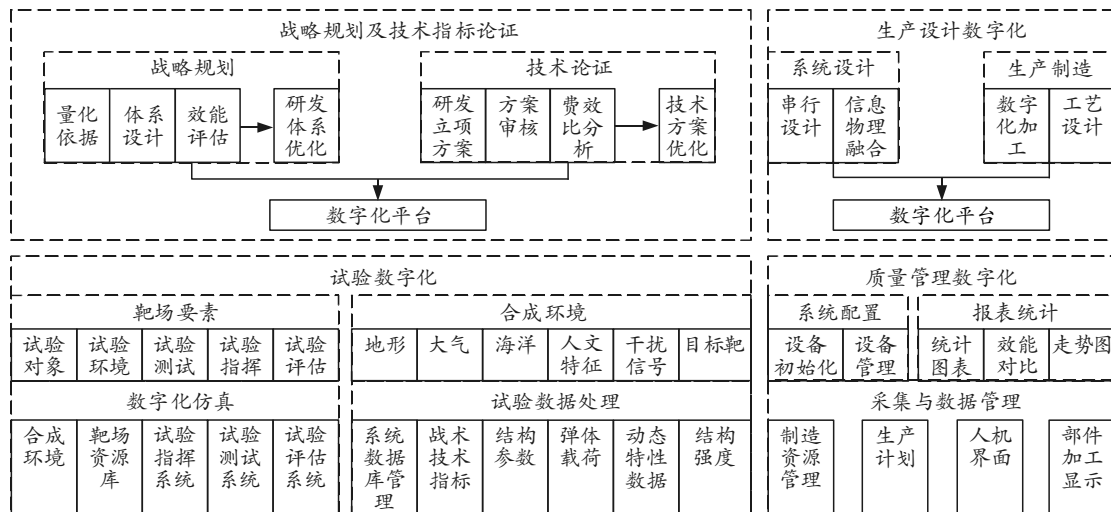


图 2 火箭弹数字化研制工程架构

### 2.1 火箭弹战略规划与技术论证数字化

#### 1) 数字化火箭弹研发战略规划。

数字化转型是未来几年的重点工作，数字化与传统技术的融合，有助于提高效率和生产率<sup>[6]</sup>。针对目前火箭弹制造企业质量管理体系缺乏量化依据、体系设计验证不充分、体系效能评估不精准等问题，基于数字平台构建火箭弹研发体系模型，根据作战需求，对产品数量和资源分配做合理规划，

实现火箭弹研发体系优化设计，为火箭弹研发战略规划论证提供依据。

#### 2) 数字化火箭弹技术论证。

针对目前火箭弹研发立项、方案审核、招标采购等过程中技术与试验方案不完善、成本费用分配不合理等问题，基于数字平台构建技术论证数字化模型，分析验证技术先进性、方案可行性以及经济适用性，寻求最优技术论证方案。

### 2.2 生产设计数字化

相较于传统火箭弹制造生产串行设计的思路，采用“信息-物理融合”思想<sup>[7]</sup>，在数字样机基础上，增加模型要素，例如加工精度、制造手段以及装配工序等，形成支持与火箭弹实物连线的平台，搭建生产线数字模型控制网络，实现模拟数字模型加工、装配和虚实结合的近物理仿真，并基于前代火箭弹实体模型的参数进行预测、评估和优化。建立拥有资源、流程等火箭弹模拟数字仿真模型，并通过全要素、全流程的虚拟和现实映射及交互融合，实现对生产现场的工艺设计和不断优化。另外，可利用火箭弹数字仿真模型，实现控制系统精确的控制、可靠的运行。

### 2.3 数字化试验

针对现实靶场存在的风险，设计虚拟靶场(VPG)，以现实靶场试验为主导，虚拟靶场为现实靶场提供理论依据，在一定程度上降低试验成本，提高安全性与靶场试验效率。

虚拟靶场由美国陆军试验与鉴定司令部在 20 世纪 90 年代提出并开发<sup>[8]</sup>。基于计算机与软件系统搭建起来的虚拟靶场试验环境，能通过建立完善的质量管理体系和仿真试验方案。以火箭弹模型为试验对象开展数字靶场试验设计分析、体系效能评估。从而与现实火箭弹试验数据相互验证，不断提高数字装备模型可靠性。

#### 1) 传统靶场与虚拟靶场要素构成。

传统试验靶场质量管理体系，主要选取火箭弹样机作为测试对象，在靶场真实环境下，对实物样机进行静态测量与动态测试，由此来评价它们的性能。传统靶场组成要素包括试验对象、试验环境、试验测试、试验指挥、试验评估等<sup>[9]</sup>。

虚拟靶场测试的对象是数字模型，它将半实物仿真模型与模拟器相结合。这种结合方式可称之为虚拟试验样机<sup>[10]</sup>，必须能够体现实物样机的某一方面或者全部功能与性能。虚拟靶场 3 维视图如图 3 所示。

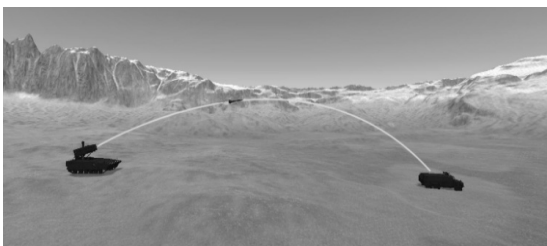


图 3 虚拟靶场 3 维视图

虚拟试验环境包含靶场的真实环境、数字化环境、半实物仿真环境的设计。虚拟环境具有打破靶场地理位置、自然环境等限制条件的优势，能够方便地设定各种试验环境条件<sup>[9]</sup>。

虚拟靶场需要进行试验测试、试验指挥与试验评估，并且需要针对虚拟试验样机与虚拟试验环境各自的特点及体系结构要求进行相应调整。

#### 2) 搭建虚拟靶场试验环境。

针对火箭弹试验搭建的虚拟靶场试验环境，主要包括：靶场特征数据库、干扰信号、地形和天气模型、目标模型、战场效果。虚拟靶场是可共用的平台，试验对象包含不同型号的武器装备，可以有效提高资源利用率<sup>[11]</sup>。

#### 3) 火箭弹数字化仿真。

火箭弹数字化试验主要以虚拟环境为背景，虚拟试验样机为对象，以靶场资源库、试验指挥系统、试验测试系统、试验评估系统为依托，开展仿真与数据处理。结构如图 4 所示。

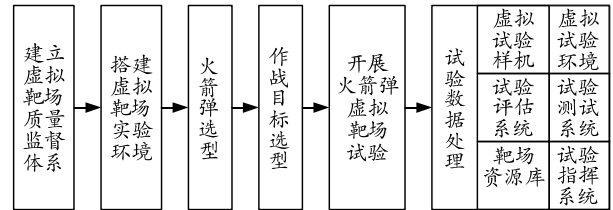


图 4 虚拟靶场数字化仿真结构

#### 4) 火箭弹虚拟靶场试验数据处理。

火箭弹虚拟靶场试验数据主要包含实际火箭弹战术技术指标、结构参数、火箭弹动态特性、弹体载荷等。火箭弹靶场试验与仿真试验数据处理如图 5 所示。其中，实际火箭弹战术技术指标包含射程、威力、密集度、精度、效费比等<sup>[12]</sup>；火箭弹动态特性包含固有振动频率、固有振型、刚度、阻尼等；弹体载荷分为地面载荷、发射过程载荷、飞行气动载荷<sup>[13]</sup>；结构参数包含 3 维模型与几何特征参数。

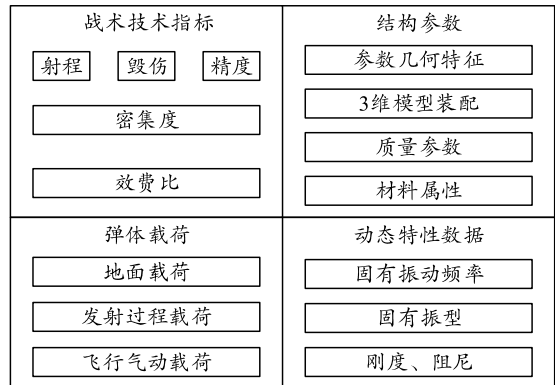


图 5 火箭弹靶场试验与仿真试验数据处理

## 2.4 质量管理数字化

质量管理数字化是火箭弹在研制过程中质量管理的准则，研制过程必须保证质量体系的有效运行并符合产品质量的发展方向<sup>[14]</sup>。火箭弹发展要有长远的战略眼光，性能指标要先进，能与世界接轨，质量长期稳定可靠。其管理的主要内容有生产状态和技术状态管理、质量成本管理、质量分析与跟踪管理、检验测量和不合格品控制管理等。

## 2.5 数字化质量管理体系结构

火箭弹数字化质量管理体系采用 5 层体系结构，分为人机交互层、监督管理层、系统模型层、数据传输层和平台工具层。

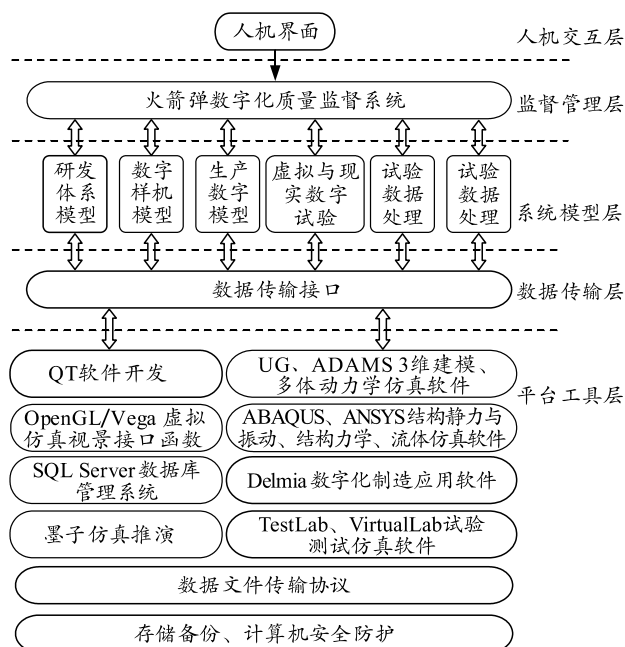


图 6 数字化质量管理体系体系结构

1) 人机交互层主要作用是控制有关设备的运行和理解并执行通过人机交互设备传来的有关各种命令和要求。

2) 监督管理层主要作用是实现对战略规划与技术论证数字化阶段、生产设计数字化阶段、虚拟与现实数字化试验和数字化管理阶段实时管理。

3) 系统模型层主要作用针对各阶段任务，以软件平台实现各个系统的模型搭建、数据试验以及试验数据处理。

4) 数据传输层主要作用是封装上层数据，提供端到端的数据通信，即应用程序间的数据传输和控制<sup>[15]</sup>。

5) 平台工具层主要作用是数字化质量管理体系提供软件技术支撑。其中，UG 和 ADAMS 分

别进行 3 维建模与动力学仿真，ABAQUS、ANSYS 等进行结构静力与振动、结构力学与流体仿真<sup>[16]</sup>。

## 3 结束语

在火箭弹研发领域，数字化是未来必要的发展方向。我军火箭弹质量管理策略数字化建设发展制度机制尚未成熟，数字技术难以支撑，在后续建设过程中，应针对火箭弹装备特点，加快数字基础设施建设，逐步完善质量管理体系：

1) 依据作战需求，各参研单位从火箭弹数字化质量管理平台进行战略规划与技术论证分析，实现同平台、各部门协同配合，有效提高火箭弹数研发效率。

2) 利用虚拟靶场技术打破现实环境的限制，减少火箭弹研发成本与时间，同时可以对试验过程存档与复现，实现问题溯源；但虚拟靶场并不能代替现实靶场试验，武器装备的试验鉴定以现实靶场试验为主，针对现实试验中存在的问题，迭代更新寻优，达到交付指标后，完成交付。

3) 利用火箭弹数字化管理平台，掌握火箭弹研发质量信息，对作战背景、装备维修与防护提供依据，提高战略防护与应急处理能力。

## 参考文献：

- [1] 邹泽昌, 杨开怀, 陈忠士. 数字化技术在现代制造业中的应用及其发展趋势[J]. 现代制造技术与装备, 2016(9): 187-188.
- [2] 杨青山, 赵成文, 刘波, 等. 一种改进型远程火箭弹发动机点火装置[J]. 兵工自动化, 2022, 41(9): 83-86.
- [3] 张晓东, 曹红松, 袁毓雯, 等. 火箭弹数字化设计技术研究[J]. 火箭与制导学报, 2017, 37(6): 40-44.
- [4] 袁志华, 王曦, 郝博. 榴弹专家系统仿真设计平台(SDP)的研究和应用[J]. 计算机仿真, 2004(5): 112-115.
- [5] 周长省, 鞠玉涛, 朱福亚, 等. 火箭弹设计理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 71-253.
- [6] 宋婕. 标准数字化: 未来发展新趋势——国际标准化组织(ISO)数字化战略综述[J]. 工程建设标准化, 2021(10): 51-54.
- [7] 赵福迪, 柳先辉. 信息物理融合系统建模技术研究[J]. 信息技术, 2021(9): 1-6, 12.
- [8] DARRELL B, DAVID B, VAN S. The Virtual Proving Ground[J]. AR&D, 2001(5-6): 20-21.
- [9] 苏建刚, 黄艳俊, 王志生. 虚拟靶场及其构建技术研究[C]//第 16 届中国系统仿真技术及其应用学术会议. 中国系统仿真学会, 2015: 185-189.
- [10] 常文泰, 张冉, 王利华, 等. 虚拟样机技术及虚拟样机

试验[J]. 软件, 2016, 37(7): 84-88.

[11] 任佳, 雷斌. 虚拟试验场技术在靶场试验计划验证中的应用[J]. 工业控制计算机, 2007(2): 7-8, 11.

[12] 赵旋, 赵晓宁, 全相印, 等. 战役战术武器费效比计算方法[J]. 兵工学报, 2020, 41(S2): 257-264.

[13] 周长省, 鞠玉涛, 朱福亚, 等. 火箭弹设计理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 71-253.

\*\*\*\*\*

(上接第 39 页)

[13] LEE C H, KIM T H, TAHK M J. Biased PNG for target observability enhancement against nonmaneuvering targets[J]. IEEE Trans, on Areospace and Electroic Systems, 2015, 51(1): 2-17.

[14] 丁万成, 杨辉, 赵剡. 基于改进的双闭环 PID 导引头力矩电机控制策略研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2015, (8): 46-48, 51.

[15] 刘妍. 模型参考自适应模糊控制的液压伺服控制系统

\*\*\*\*\*

(上接第 53 页)

参考文献:

[1] 赵春霞. 大数据智能化: 高等教育治理现代化的实践进路[J]. 江苏高教, 2021(11): 81-85.

[2] 史婷婷, 关晓伟, 常加松. 大数据时代高等教育管理的优化策略探究—评《高校教育管理与教学研究》[J]. 中国科技论文, 2022, 17(2): 241.

[3] 马丽芳. 大数据背景下高等教育质量建设的创新路径与发展方向研究—评《高等教育质量标准体系评价与创新路径研究》[J]. 科技管理研究, 2021, 41(23): 235.

[4] 狄振鹏, 姜士伟. 大数据时代政府数据开放与公民隐私保护问题研究[J]. 情报杂志, 2022, 41(2): 155-159.

[5] 顾希焱, 林秀娟. 构建高校毕业生就业质量评价体系探析[J]. 思想理论教育, 2021(7): 108-111.

[6] WEN Y P, LIU J X, DOU W C, et al. Scheduling workflows with privacy protection constraints for big data applications on cloud[J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 108: 1084-1091.

[7] AWAJAN I, MOHAMAD M, AL-QURAN A. Sentiment Analysis Technique and Neutrosophic Set Theory for

[14] 莫春华, 田国辉. 浅谈武器装备研制过程的质量管理与管理[J]. 四川兵工学报, 2003(2): 38-39.

[15] 段立功, 吴源源, 雷斌, 等. 一种适用于 SAR 信息系统中的存储中间件[J]. 微计算机应用, 2006(2): 161-163.

[16] 刘馨心, 袁野, 周昌盛, 等. 某大型制导火箭弹发射动力学仿真与试验分析[J]. 弹箭与制导学报, 2020, 40(5): 118-121.

探讨[J]. 同煤科技, 2017(4): 14-16.

[16] 王小妹, 王万玉, 毛伟, 等. 窄波束高动态目标高精度跟踪技术分析[J]. 物联网技术, 2018, 8(4): 28-30.

[17] 徐崇彦, 张言锋, 孟祥国. Ka 频段低轨卫星跟踪技术研究[J]. 无线电通信技术, 2017, 43(6): 56-59.

[18] 吴建刚, 李星洲, 刘胜魁, 等. 电机启动转矩对伺服平台隔离度影响分析[J]. 机电产品开发与创新, 2021, 34(2): 88-91.

Mining and Ranking Big Data From Online Reviews[J]. IEEE Access, 2021, 9(99): 1-16.

[8] RAHUL K, BANYAL R K. Detection and Correction of Abnormal Data with Optimized Dirty Data: A New Data Cleaning Model[J]. International Journal of Information Technology And Decision Making, 2021, 20(2): 809-841.

[9] 王渊. 云计算环境下船舶移动网络大数据的有效存储方法[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(22): 158-160.

[10] 罗月婉, 刘沙杭, 张振中. 基于大数据分析的航空产品故障管控[J]. 兵工自动化, 2021, 40(9): 59-62.

[11] 方小利, 刘霞. 用于文献可视化分析的数据清洗方法研究[J]. 大学图书馆学报, 2021, 39(6): 56-60.

[12] 叶苗. 大数据分析大学生就业率估计模型仿真[J]. 计算机仿真, 2016, 33(11): 183-186.

[13] LI J, LEI H, TSAI S B. Online data migration model and ID3 algorithm in sports competition action data mining application[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021(7): 1-11.

[14] 朱燧丹, 陈兴荣, 李秋萍. 基于信息增益率的超高维变量选择[J]. 统计与决策, 2021, 37(22): 18-21.

[15] 况茜. 大数据背景下的高校就业信息管理系统构建[J]. 信息技术, 2021(5): 74-79.